栾多态毛蚜在不同温度下的实验种群生命表

李定旭*, 任 静, 杜 迪, 王清春

(河南科技大学林学院, 河南洛阳 471003)

摘要:【目的】为明确温度对栾多态毛蚜 *Periphyllus koelreuteriae* (Takahashi)生长发育和繁殖的影响。【方法】在室内 12, 15, 18, 23, 26 和 29(±1)℃,60% ±7% RH 和 15L:9D 条件下,测定了栾多态毛蚜各发育阶段的历期、存活率和成蚜的产卵量,组建了栾多态毛蚜的实验种群生命表。【结果】在 29℃条件下,卵不能孵化;在 12~23℃范围内,卵和若蚜的发育历期随着温度的升高而缩短,均以 12℃下的历期最长,分别为 13.97 d 和 21.94 d,以 23℃下最短,分别为 5.86 d 和 7.34 d;在 12~26℃范围内,温度与发育速率的关系符合 Logistic 模型;成蚜的生殖前期和寿命随着温度的升高而缩短;产卵量以 18℃和 23℃时最高,分别为 107.06 和 120.23 头/雌,26℃时最低,仅为 63.16 头/雌。生命表分析表明,净生殖率和内禀增长率随温度升高而增大,至 23℃时达最大,内禀增长率与温度之间的关系可用 $r_m = -0.0018T^2 + 0.075T - 0.5945$ ($R^2 = 0.9419$, $P = 0.0481$)来描述。【结论】温度对栾多态毛蚜的生长发育和繁殖有很大的影响,18~23℃是最适宜该虫种群增长的温度范围。

关键词: 栾多态毛蚜; 温度; 生命表; 发育历期; 存活率; 生殖力

中图分类号: Q968 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2015)02-0154-06

Life tables of the laboratory population of *Periphyllus koelreuteriae* (Hemiptera: Chaitophoridae) at different temperatures

LI Ding-Xu*, REN Jing, DU Di, WANG Qing-Chun (Forestry College, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract: 【Aim】This study aims to explore the effects of temperature on the population growth of *Periphyllus koelreuteriae* (Takahashi). 【Methods】We investigated the developmental duration, survivorship, and fecundity of *P. koelreuteriae* in the laboratory under the conditions of 12, 15, 18, 23, 26 and 29 (±1)℃, RH 60% ±7% and a photoperiod of 15L: 9D, and constructed life tables of their laboratory populations. 【Results】The results showed that no nymph hatched at 29℃, and the developmental duration of egg and nymph decreased with the temperature increasing from 12℃ to 23℃. The longest duration of egg and nymph was 13.97 d and 21.94 d at 12℃, and the shortest was 5.86 d and 7.34 d at 23℃, respectively. The relationship between the developmental rate and temperature could be simulated by the Logistic model. Adult lifespan and pre-reproduction period decreased as the temperature increased, and the highest fecundity per female was 107.06 and 120.23 at 18℃ and 23℃, respectively, while the lowest was 63.16 at 26℃. Analysis of life table parameters showed that the net reproductive rate (R_0) and the intrinsic rate of increase (r_m) increased as the temperature increased, with the highest values of both found at 23℃. Relationship between the intrinsic rate of increase (r_m) and temperature (T) could be described by the equation: $r_m = -0.0018T^2 + 0.075T - 0.5945$ ($R^2 = 0.9419$, $P = 0.0481$). 【Conclusion】Temperature has great effects on the development and reproduction of *P. koelreuteriae*, and the most suitable temperature range for this pest is from 18℃ to 23℃, during which there is higher intrinsic rate of increase.

Key words: *Periphyllus koelreuteriae*; temperature; life table; developmental duration; survivorship; fecundity

复羽叶栾树 *Koelreuteria bipinnata* Franch 因其树形美观、枝叶生长茂密,春季嫩叶红润,夏季满树

基金项目: 洛阳市园林局科研业务项目(2013036); 河南科技大学 SRTP 项目(2014275)

作者简介: 李定旭, 男, 河南灵宝人, 1965 年生, 博士, 教授, 主要从事害虫综合治理及昆虫生态学教学与研究, E-mail: ldigxu@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: ldigxu@163.com

收稿日期 Received: 2014-10-11; 接受日期 Accepted: 2014-12-11

黄花，秋季叶片变黄、果实紫红盈树，以及强抗粉尘、二氧化硫和臭氧的特性，被认为是一种理想的观叶、观花、观果的绿化树木，近年来在很多城市大量用作行道树、园景树种植(李馨等，2009)。

栾多态毛蚜 *Periphyllus koelreuteriae* (Takahashi)是栾树的主要害虫(张广学和钟铁森，1983)。它主要吸食栾树的嫩芽、嫩叶、嫩梢等幼嫩部位，造成叶片蜷缩变形、枝叶生长停滞；严重时嫩枝布满虫体，甚至导致枝叶枯死；同时，该蚜还大量分泌蜜露，诱发栾树叶片和下层灌木产生煤污病，降低观赏价值；滴落的蜜露常使路面粘泞，甚至污及行人。因此，对栾多态毛蚜的研究已开始受到人们的关注，有关其生物学、发生规律和防治等都已进行了一些研究。目前已经明确，该蚜在我国主要以受精卵在树体上(包括树皮裂缝、疤痕等及树枝的分叉处等)越冬(王念慈等，1990；顾萍等，2004)，次年早春卵孵化，4、5 月间为害严重，5 月下旬即以初龄若蚜滞育越夏，秋末形成第 2 个为害高峰(王念慈等，1990，1991；王秀建等，2012)。这些研究无疑有助于了解该蚜的生物学特性、种群数量变动规律，但该蚜的综合治理仍需要更多有关其生态学基础的研究。温度无疑是影响其种群数量变动的重要生态因子，但这方面尚未见有相关报道。本文研究了温度对栾多态毛蚜的生长发育、存活及繁殖的影响，以期深入探讨栾多态毛蚜种群数量变化的规律，进而为该虫的预测预报与综合治理提供必要的依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

试虫采自河南省洛阳市瀛洲路两侧疏于管理的行道树复羽叶栾树上。2012 - 2013 年 11 月间，自复羽叶栾树上收集带有栾多态毛蚜卵的树皮，带回实验室于 0℃储藏，次年 2 月底取出带卵树皮在人工培养箱中使其孵化作为虫源。

1.2　卵的孵化

将带卵树皮放入直径 90 mm 的培养皿中，培养皿底部放入湿润的滤纸和含水棉球，以保持一定的湿度。然后将培养皿置于人工气候箱(PQX-450B-30H，宁波莱福科技有限公司)内，设置温度 12，15，18，23，26 和 29(±1)℃，相对湿度 60% ±7% 及光周期 15L∶9D 的实验条件，每日定时统计卵孵化的数量。

1.3　不同温度对栾多态毛蚜生长发育及繁殖的影响

实验在水培枝条上进行。从复羽叶栾树上采集 1 ~ 2 年生枝条若干，带回室内截成 20 cm 的小段；将小段枝条插入盛有清水的试管(20 mm × 120 mm)，再将试管竖立于试管架内，并将试管架放入气候箱内进行培养，待枝条萌发出嫩芽时用于饲养蚜虫。为防止蚜虫的扩散逃逸和观察的方便，每个枝条只保留最上端的嫩芽，并在该嫩芽下方约 2 cm 处涂上医用凡士林。各处理中的栾树枝条依其嫩芽长势不定期更换，以保证各处理中枝条营养状况一致。

每次收集到的若蚜随即进行实验，以保证各处理中的初始虫态均为孵化 6 h 以内的若蚜。因前述实验中，卵在 29℃下未孵化，故只在 12，15，18，23 和 26(±1)℃共 5 个温度处理下进行试验，其他条件仍保持不变。每个处理接初孵若蚜 80 ~ 120 头。每天 9:00 和 21:00 各观察一次，检查若蚜数量和脱皮数，记载若蚜各龄发育历期，并将脱皮后的若蚜移至新的枝条；成蚜羽化后则每天观察一次，检查是否有若蚜产出，并记载生殖前期(即成蚜羽化至开始产仔的时期)及每天每雌产仔数，直至所有成虫全部死亡。

1.4　数据处理方法

所有的数据均采用 SAS 9.0 软件进行分析。蚜虫各发育阶段的历期数据直接进行单因素方差分析，存活率数据经反正弦转换后进行方差分析，各参数均值之间的差异显著性均采用 Fisher's LSD 进行检验。发育速率与温度之间的关系用 Marquardt 法拟合。种群净增殖率(R_0)、世代平均周期(T)、内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ)和种群加倍时间(D_t)均按照丁岩钦(1994)的方法计算，并采用 Jacknife 法计算其方差(Maia *et al.*，2000)。

2　结果

2.1　不同温度对栾多态毛蚜生长发育的影响

实验结果表明(表 1)，在 12 ~ 26℃条件下，卵均能孵化，而在 29℃下不能孵化。在不同温度下，栾多态毛蚜各虫态的发历期有明显的差异，在 12 ~ 23℃范围内，发育历期随着温度的升高而缩短，但在 26℃时有所延长。其中，卵在不同温度下的发育历期差异显著($F = 17.43$；$df = 4, 532$；$P < 0.0001$)，以 12℃时最长，达 13.97 d，23℃时最短，仅 5.86 d，但在 23℃和 26℃之间无明显差异；若蚜在不同温度

表 1 栾多态毛蚜在不同温度下的发育历期(d)

Table 1 Developmental duration (d) of *Periphyllus koelreuteriae* at different temperatures

温度(℃) Temperature	卵 Egg	1 龄若蚜 1st instar nymph	2 龄若蚜 2nd instar nymph	3 龄若蚜 3rd instar nymph	4 龄若蚜 4th instar nymph	全若蚜期 Total nymphal stage
12	13.97 ± 1.36 a	8.47 ± 1.80 a	5.05 ± 0.39 a	4.22 ± 0.67 a	4.41 ± 0.54 a	21.94 ± 2.34 a
15	10.78 ± 0.94 b	5.32 ± 0.67 b	2.74 ± 0.68 b	2.65 ± 0.62 b	2.37 ± 0.39 b	13.08 ± 1.25 b
18	7.74 ± 0.72 c	3.62 ± 0.48 c	2.29 ± 0.48 c	1.88 ± 0.33 c	1.97 ± 0.16 bc	9.52 ± 0.90 c
23	5.86 ± 0.66 d	2.74 ± 0.49 d	1.77 ± 0.49 d	1.69 ± 0.29 c	1.74 ± 0.33 c	7.34 ± 0.72 d
26	6.09 ± 0.54 d	3.10 ± 0.46 cd	2.01 ± 0.46 c	1.81 ± 0.49 c	1.83 ± 0.32 c	8.78 ± 0.82 c

表中数据为平均值 ± 标准差;同一列中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$, LSD);下同。Data (mean ± *SD*) in a column followed by different lowercase letters are significantly different ($P < 0.05$, LSD). The same for the following tables.

下的发育历期有显著差异($F = 14.65$; $df = 4, 502$; $P < 0.0001$),仍以 12℃ 时最长, 23℃ 时最短,但 26℃时又明显延长,说明 26℃的温度已经抑制了若蚜的生长发育。因此,可以初步认为,18 ~ 23℃是适宜该蚜生长发育的温度。

根据表 1 的数据,将栾多态毛蚜在不同温度下的发育历期(N)转换成发育速率(V)后,采用 Logistic 曲线:$y = c/[1 + \exp(a + bt)]$进行拟合,得出温度与栾多态毛蚜发育速率的关系模型,其参数值如表 2。结果表明,Logistic 方程能够较好地描述栾多态毛蚜发育速率与温度的关系。

2.2 不同温度对栾多态毛蚜存活的影响

在不同温度下栾多态毛蚜各龄若蚜的存活率如表 3。结果表明,1 龄若蚜($F = 11.64$; $df = 4$; $P = 0.0027$)、2 龄若蚜($F = 10.33$; $df = 4$; $P = 0.0044$)及全若蚜期($F = 9.38$; $df = 4$; $P = 0.0062$)在各温度下的存活率差异明显($F = 8.69$; $df = 4$; $P = 0.0082$),而 3、4 龄若蚜在各温度下的存活率无明显差异($P > 0.05$);其中,1 龄若蚜在 23℃时的存活率已明显低于 12℃,在 26℃时的存活率显著低于12 ~ 23℃;2 龄若蚜的存活率在 12 ~ 23℃无明显差异,而 26℃时显著低于 12 ~ 23℃。这说明,栾多态毛蚜的低龄若蚜对 23℃以上温度的适应性较差。整个若蚜期的存活率在 12 ~ 18℃范围内变化不大,而当温度超过 23℃时则明显降低,说明 23℃以上的温度不利于该蚜的存活。

表 2 栾多态毛蚜发育速率与温度之间关系的模型参数

Table 2 Parameters of Logistic model for the developmental rate of *Periphyllus koelreuteriae* as a function of temperature

发育阶段 Developmental stage	*a*	*b*	*c*	R^2	*P*
卵期 Egg	3.4188	−0.2408	0.1809	0.9977	0.0033
1 龄若蚜 1st instar nymph	4.9783	−0.3487	0.3524	0.9958	0.0065
2 龄若蚜 2nd instar nymph	5.1558	−0.3885	0.5324	0.9961	0.0058
3 龄若蚜 3rd instar nymph	5.3596	−0.4094	0.5815	0.9981	0.0027
4 龄若蚜 4th instar nymph	6.1272	−0.4796	0.5600	0.9995	0.0009
全若蚜期 Total nymphal stage	5.2271	−0.3822	0.1264	0.9941	0.0094

表 3 不同温度下栾多态毛蚜各龄期存活率(%)

Table 3 Nymphal survivorship (%) of *Periphyllus koelreuteriae* at different temperatures

温度(℃) Temperature	1 龄若蚜 1st instar nymph	2 龄若蚜 2nd instar nymph	3 龄若蚜 3rd instar nymph	4 龄若蚜 4th instar nymph	全若蚜期 Total nymphal stage
12	96.24 ± 3.34 a	94.62 ± 2.89 a	93.24 ± 2.67 a	93.16 ± 2.49 a	79.10 ± 6.45 a
15	93.21 ± 3.06 ab	94.16 ± 2.77 a	93.44 ± 2.52 a	94.44 ± 2.55 a	78.27 ± 7.02 a
18	91.38 ± 3.22 ab	93.61 ± 2.86 a	92.68 ± 2.64 a	95.22 ± 2.63 a	75.49 ± 6.15 a
23	88.47 ± 3.14 b	89.24 ± 2.68 a	94.64 ± 2.78 a	91.66 ± 2.74 a	62.43 ± 6.37 b
26	56.54 ± 2.37 c	67.67 ± 2.01 b	89.55 ± 2.34 a	90.44 ± 2.46 a	31.57 ± 5.40 c

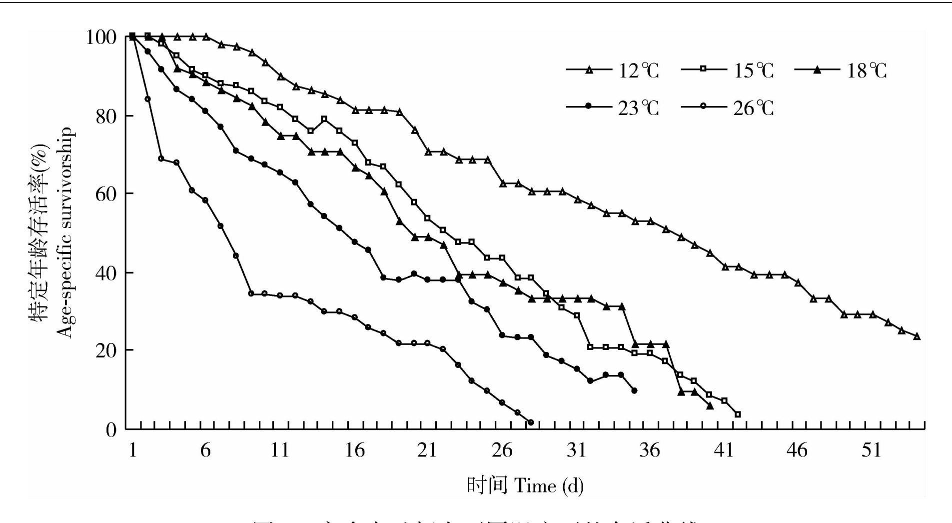


图 1　栾多态毛蚜在不同温度下的存活曲线

Fig. 1　Survival curves of *Periphyllus koelreuteriae* at different temperatures

种群存活曲线表示种群中某一同龄群从出生直至死亡的全部过程,既反映各物种特征,又反映环境的作用。图 1 是栾多态毛蚜在不同温度下的存活曲线。由图 1 可以看出 26℃下的存活曲线与其他几个温度差异较大,前期死亡率明显较高,而在 12 ~ 23℃下,死亡主要发生在中后期。

2.3　温度对栾多态毛蚜繁殖的影响

栾多态毛蚜成蚜在不同温度下的繁殖结果表明(表 4),成蚜的寿命($F = 9.84$; $df = 4, 167$; $P = 0.0056$)、生殖前期($F = 7.94$; $df = 4, 167$; $P = 0.0075$)、平均产仔量($F = 11.87$; $df = 4, 167$; $P < 0.0001$)以及日均产仔量($F = 10.22$; $df = 4, 167$; $P < 0.0001$)在不同温度之间均有显著差异。其中,生殖前期和成蚜寿命均随着温度的升高而缩短,以 12℃为最长,26℃最短;成蚜的产仔量则以 18 ~ 23℃为最大,26℃时为最小,且显著小于其余温度;日均产仔量则以 23℃为最高,12℃为最低。这些结果表明,适宜栾多态毛蚜繁殖的温度范围为 18 ~ 23℃。

表 4　不同温度对栾多态毛蚜繁殖的影响

Table 4　Effects of temperatures on the reproduction of *Periphyllus koelreuteriae*

温度(℃) Temperature	生殖前期(d) Pre-reproduction duration	产仔量(头/雌) Fecundity (number of nymphs produced per female)	日均产仔量(头) Daily number of nymphs produced per female	成虫寿命(d) Adult longevity
12	2.47 ± 0.59 a	90.69 ± 14.30 b	3.42 ± 1.34 d	28.54 ± 3.98 a
15	1.55 ± 0.57 b	94.78 ± 11.76 b	4.67 ± 1.41 c	22.56 ± 2.51 b
18	1.07 ± 0.34 c	107.06 ± 15.20 ab	6.65 ± 1.89 b	17.18 ± 2.99 c
23	0.82 ± 0.43 cd	120.23 ± 14.70 a	9.39 ± 2.17 a	13.81 ± 2.16 c
26	0.69 ± 0.49 d	63.16 ± 14.87 c	6.52 ± 2.24 b	9.72 ± 2.75 d

根据栾多态毛蚜成蚜在不同温度下逐日产仔量数据,绘制了其特定年龄生殖力曲线(图 2)。在 12℃下,成蚜的产仔期长但没有明显的产仔高峰期,15℃下也类似无明显的产仔高峰期;而在 18 ~ 26℃时,成蚜具有明显的产仔高峰期,且随着温度的升高产仔高峰时间逐渐提早,成蚜在 18, 23 和 26℃下的产仔高峰分别出现在羽化后第 7, 5 和 4 天,高峰期产仔量分别为 15.84, 13.94 和 12.44 头/雌。

2.4　不同温度下栾多态毛蚜实验种群生命表参数

根据栾多态毛蚜在各温度下的种群生殖力资料,计算出种群的净增殖率(R_0)、世代平均周期(T)、内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ)和种群加倍时间(D_t)(表 5)。结果表明,在 12 ~ 23℃范围内,世代平均周期随温度升高而缩短,但在 26℃反而延长;净增殖率和内禀增长率则随着温度的升高而增大,至 23℃时,R_0 和 r_m 最大,但温度达 26℃时则急剧减小;各温度下的周限增长率(λ)均大于 1,表明种群在此温度范围内作几何级数增长。种群加倍时间(D_t)与内禀增长率(r_m)变化趋势相反,23℃时种群加倍时间最短。

根据表 5 中数据,内禀增长率(r_m)与温度(T)之间关系符合如下公式:$r_m = -0.0018T^2 + 0.075T - 0.5945$ ($R^2 = 0.9419$, $P = 0.0481$)。

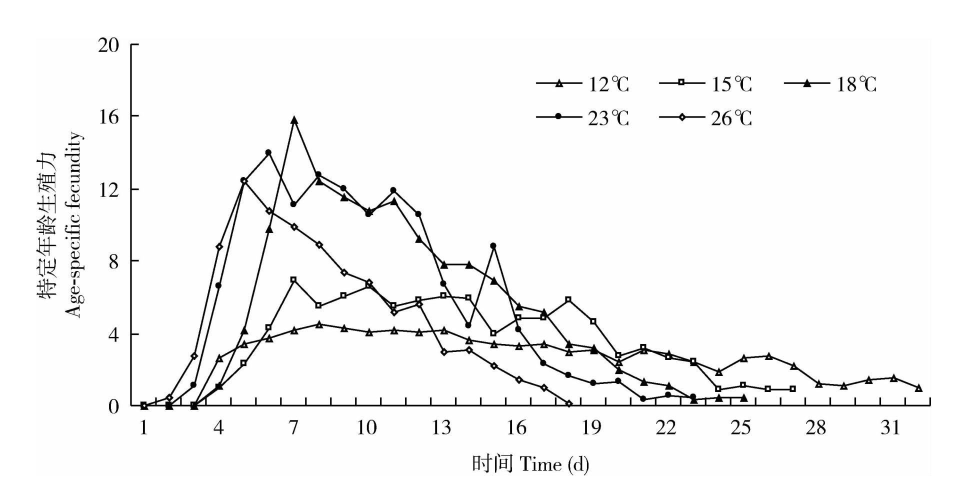


图 2　栾多态毛蚜特定年龄生殖力

Fig. 2　Age-specific fecundity of *Periphyllus koelreuteriae* at different temperatures

表 5　不同温度下栾多态毛蚜实验种群生命表参数

Table 5　Life table parameters of the experimental population of *Periphyllus koelreuteriae* at different temperatures

温度(℃) Temperature	净增殖率 Net reproductive rate (R_0)	世代平均周期 Mean generation time (T)	内禀增长率 Intrinsic rate of increase (r_m)	周限增长率 Finite rate of increase (λ)	种群加倍时间 Doubling time (D_t)
12	31.84 ± 2.26 c	54.28 ± 3.22 a	0.0631 ± 0.0026 e	1.0659 ± 0.0064 e	10.8644 ± 0.8652 a
15	36.01 ± 2.68 c	28.81 ± 1.94 b	0.1244 ± 0.0011 d	1.1279 ± 0.0052 d	5.7570 ± 0.3648 b
18	62.43 ± 3.53 b	22.53 ± 1.76 c	0.1834 ± 0.0016 b	1.2014 ± 0.0071 a	3.7774 ± 0.3114 c
23	80.48 ± 4.37 a	19.29 ± 1.83 c	0.2276 ± 0.0019 a	1.2809 ± 0.0072 a	2.7995 ± 0.2649 d
26	35.85 ± 2.19 c	22.21 ± 1.92 c	0.1620 ± 0.0017 c	1.1644 ± 0.0066 c	4.5542 ± 0.3463 c

对上述方程求其一阶导数，可知，当 $T = 20.83$ 时 r_m 有极值，即当温度为 20.83℃时，种群的增长速度最快；令 r_m 等于零，则可求得 $T_1 = 10.87$，即当温度为 10.87℃时，种群的增长速度因温度过低而降至零。

3　结论与讨论

生命表方法在研究、分析环境因子对昆虫种群数量变动的影响时被广泛应用。但有关栾多态毛蚜生命表的研究，国内外未见相关报道。本研究分析了温度对栾多态毛蚜的生长发育和繁殖的影响，结果表明，在不同温度下栾多态毛蚜的发育历期、繁殖力和存活率均存在明显的差异，从而影响了种群内禀增长率的变化。在 12 ~ 26℃范围内，种群内禀增长率(r_m)与温度(T)之间的关系为 $r_m = -0.0018T^2 + 0.075T - 0.5945$；当温度为 20.83℃时，种群的增长速度最快。该结果对生产中分析该虫种群动态具有一定的指导意义。

温度对栾多态毛蚜的生长发育和存活有很大的影响。卵在 12 ~ 26℃下均能正常孵化，而卵在 29℃下不能孵化，但需要指出，这并不意味着若蚜在 29℃下不能存活，只能说明卵不耐高温；若蚜的发育历期在 12 ~ 23℃范围内随温度升高而缩短，但在 26℃时反而延长，则说明此温度已抑制了若蚜的发育。王念慈等(1990)曾报道，在室内变温条件下，该蚜第 1 代的发育历期为 22 ~ 29 d，第 2 代的发育历期为 12 ~ 19 d；而本研究结果中若蚜在 12℃下的发育历期为 21.94 ± 2.34 d，15℃下为 13.08 ± 1.25 d，与之较为吻合。栾多态毛蚜若蚜在不同温度下存活率的差异(表 3)也反映了其对温度的适应性，若蚜在 23 ~ 26℃时的存活率明显低于 12 ~ 18℃，说明温度在 23℃以上时不利于若蚜存活；1、2 龄若蚜在较低温度下的存活率明显较高，说明低龄若蚜对低温的适应性更强，这显然有利于该蚜在早春的存活。

温度对栾多态毛蚜的繁殖也有很大的影响。本研究表明，18 ~ 23℃也是栾多态毛蚜繁殖的适宜温度范围，温度过高或过低都会使其生殖力显著降低。内禀增长率是描述在特定条件(如温度、食物等)下种群增长的重要指标，它全面反映了该特定条件对害虫种群的发育、存活、生殖等方面的影响

(Southwood, 2000; Kasap, 2003)。本研究中,栾多态毛蚜种群的内禀增长率以 23℃时为最大,18℃时次之;进一步分析内禀增长率与温度的关系可知,当温度为 20.83℃时,种群的增长速度最快。王念慈等(1991)曾报道,在山东泰安地区,该蚜自然种群增长最快的时期是 4 月中下旬;我们2013－2014年在洛阳市的调查则表明,4 月下旬是该蚜数量增长最快的时期,而此阶段洛阳市的日平均气温为16.8～23.4℃,旬平均气温为19.9℃,与本研究的结果基本一致。根据上述分析,将种群的增长速度达到最快之前作为该蚜药剂防治的关键时期较为合适(王念慈等, 1990; 王秀建等, 2012)。

需要指出的是,实验种群生命表所反映的种群动态和自然种群尚存在一定差别。影响栾多态毛蚜种群动态的因素较多,除了温度之外,尚有光周期、树木营养状况、天敌等,今后有必要进一步开展光照、营养等综合因子对栾多态毛蚜生长发育影响的研究,以便更加全面、系统地揭示环境因子对其种群动态的影响机制。

参考文献(References)

Ding YQ, 1994. Mathematical Ecology of Insects. Science Press, Beijing. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社]

Gu P, Zhou LQ, Xu Z, 2004. Biological characteristics and control of *Periphyllus koelreuteriae* (Takahashi) in Shanghai district. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 22(4): 389－392. [顾萍, 周玲琴, 徐忠, 2004. 上海地区栾多态毛蚜生物学特性观察及防治初探. 上海交通大学学报, 22(4): 389－392]

Kasap I, 2003. Life history of hawthorn spider mite *Amphitetranychus viennensis* (Acarina: Tetranychidae) on various apple cultivars and at different temperatures. *Experimental and Applied Acarology*, 31 (1－2): 79－91.

Li X, Jiang WB, Weng ML, 2009. Landscape characters of *Koelreuteria* tree species and their exploitation and application. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 25(1): 141－146. [李馨, 姜卫兵, 翁忙玲, 2009. 栾树的园林特性及开发利用. 中国农学通报, 25(1): 141－146]

Maia AHN, Luiz AJB, Campanhola C, 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. *Journal of Economic Entomology*, 93(2): 511－518.

Southwood TRE, 2000. Ecological Methods: with Particular Reference to the Study of Insect Populations. 3rd ed. Blackwell Science, Malden, MA, USA. 575 pp.

Wang NC, Li ZH, Liu GL, Ye BH, Dong JX, 1991. Morphological characters and population dynamics of *Periphyllus koelreuteriae*. *Journal of Shandong Agricultural University*, 22(1): 79－85. [王念慈, 李照会, 刘桂林, 叶宝华, 董家兴, 1991. 栾多态毛蚜形态特点和自然蚜量变动规律的研究. 山东农业大学学报, 22(1): 79－85]

Wang NC, Li ZH, Liu GL, Ye BH, Dong JX, Ren P, 1990. Studies on the bionomics of *Periphyllus koelreuteriae* and its control. *Journal of Shandong Agricultural University*, 21(1): 47－50. [王念慈, 李照会, 刘桂林, 叶宝华, 董家兴, 任平, 1990. 栾多态毛蚜生物学特性及防治的研究. 山东农业大学学报, 21(1): 47－50]

Wang XJ, Wang LH, Yu H, Wang YB, 2012. Control effect of four insecticides against *Periphyllus koelreuteria*. *Journal of Henan Institute of Science and Technology*, 40(4): 27－29. [王秀建, 王刘豪, 余昊, 王运兵, 2012. 4 种药剂对栾多态毛蚜的防效. 河南科技学院学报, 40(4): 27－29]

Zhang GX, Zhong TS, 1983. Economic Insect Fauna of China, Fasc. 25. Homoptera: Aphidomorpha. Science Press, Beijing. [张广学, 钟铁森, 1983. 中国经济昆虫志(第二十五册). 蚜虫类. 北京: 科学出版社]

(责任编辑: 袁德成)